

A Comparison between *Zij-i Yamīnī*'s Analemma for the Determination of the Qibla Direction with the Works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī

Maedeh Hosseinzadeh✉

<https://orcid.org/0009-0008-7486-3614>

M.A. in History of Science, Institute for the History of Science, University of Tehran. E-mail: msh.hosseinzadeh@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 August 2023

Received in revised form 28

October 2023

Accepted 21 November 2023

Published online 1 December

2023

Keywords:

Analemma, al-Bīrūnī, Qibla,

Ḥabash al-Ḥāsib, *Zij-i Yamīnī*

ABSTRACT

Determining Qibla direction was one of the most popular topics in Islamic astronomy. Muslim astronomers have proposed various methods to determine Qibla, approximate or accurate. One of the most accurate methods for determining Qibla was the Analemma technique. This method turns the three-dimensional problem of the sphere (Earth or celestial sphere) into a two-dimensional plane through a geometrical construct to facilitate the question. In *Zij-i Yamīnī*, the second oldest known Persian *Zij* composed by Mūḥammad ibn Abū Naṣr al-Ḥaḳāyiqī in the 12th century AD, two analemma models for the determination of the Qibla direction are proposed. In this paper, two models are first discussed and completely drawn, then they are compared with other analemma models mentioned in the works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī.

Cite this article: Hosseinzadeh, M. (2023) A Comparison between *Zij-i Yamīnī*'s Analemma for the Determination of the Qibla Direction with the Works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī. *Journal for the History of Science*, 21 (1), 31-50. DOI: <http://doi.org/10.22059/JIHS.2023.364238.371756>



© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

روش‌های ترسیمی (آنالما) برای تعیین جهت قبله در زیچ یمینی و مقایسه آن‌ها با روش‌های موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی

مآئده حسین‌زاده ✉

<https://orcid.org/0009-0008-7486-3614>

کارشناس ارشد تاریخ علم، پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: msh.hosseinzadeh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۳۰</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱۰</p>	<p>یکی از مهم‌ترین موضوعات در نجوم دوره اسلامی قبله و قبله‌یابی بوده است. با توجه به اهمیت این موضوع دانشمندان این دوره با توصیف‌های هندسی و تعریف‌های ریاضی، روش‌های مختلف ریاضی، مثلثاتی و ترسیمی برای تعیین تقریبی یا دقیق جهت قبله عرضه کردند. در بیشتر زیچ‌های دوره اسلامی نیز به این موضوع پرداخته شده است. زیچ‌ها آثار کاربردی نجوم دوره اسلامی هستند که عمدتاً شامل جدول‌های نجومی و توضیحاتی در باره روش استفاده از آن‌ها می‌شوند. به طور معمول در کنار مطالب نجومی زیچ‌ها، چندین روش برای تعیین جهت قبله عرضه می‌شد، یکی از رایج‌ترین آن‌ها، روشی مثلثاتی منسوب به روش زیچ‌ها است. از دقیق‌ترین روش‌های تعیین جهت قبله، روش آنالما است. به آن دسته از روش‌های هندسه توصیفی که در آن مسأله سه بعدی سطح کره روی صفحه ترسیم و حل می‌شوند «آنالما» می‌گویند. منجمان دوره اسلامی با تعیین زاویه انحراف قبله محلی روی کره زمین و سپس کره آسمان و تسطیح آن روی دایره، آنالماهایی به منظور یافتن جهت قبله عرضه کردند که در برخی از زیچ‌ها نیز به آن پرداخته شده است. در زیچ یمینی، دومین زیچ فارسی شناخته‌شده از لحاظ قدمت، در کنار روش‌های معمول زیچ‌ها برای تعیین جهت قبله، دو آنالما هم آمده است. این مقاله پس از بررسی و ترسیم آنالماهای زیچ یمینی، به مقایسه آن‌ها با آنالماهای موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی می‌پردازد.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>آنالما، ابو ریحان بیرونی، حبش حاسب، زیچ یمینی، قبله.</p>	

استناد: حسین‌زاده، مآئده. (۱۴۰۲ش). روش‌های ترسیمی (آنالما) برای تعیین جهت قبله در زیچ یمینی و مقایسه آن‌ها با روش‌های موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی. تاریخ علم، ۲۱ (۱)، ۳۱-۵۰.

DOI: <http://doi.org/10.22059/JIHS.2023.364238.371756>



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

آنالما روشی هندسی بر پایه ترسیم است که در دوران باستان به منظور حل مسائل نجومی و جغرافیایی استفاده می‌شد. مسائل سه بعدی سطح کره با به کار گرفتن روش آنالما به مسائل دو بعدی روی یک صفحه تبدیل می‌شوند. ساختار آنالما به گونه‌ای است که نماهای مختلف (نمای بالا، نمای جانبی و نمای روبه‌رو) یک مسأله در یک صفحه و روی یک دایره مرجع جمع می‌شوند. کمان‌های مورد نظر روی کره، مرحله به مرحله با انتقال و یا چرخش، به دایره مرجع اضافه می‌شوند تا در نهایت کمان مجهول به دست آید (Van Brummelen, 2009: 66). مسائل نجوم کروی به کمک آنالما، به جای استفاده از محاسبات و روابط مثلثات کروی پیچیده، ساده‌تر حل می‌شوند (موسوی، ۱۳۹۳، ۴۶). امروزه این دست روش‌ها در شمار روش‌های «هندسه توصیفی»^۱ دسته‌بندی می‌شوند.

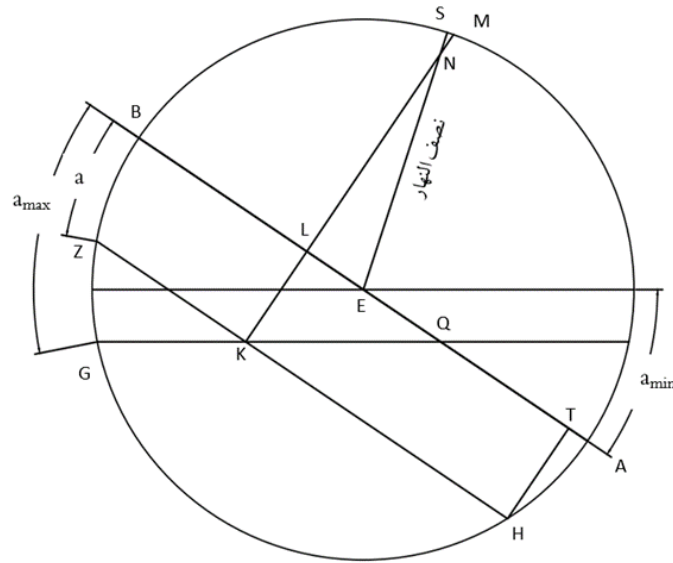
با مطالعه پیشینه مثلثات و نجوم کروی، ردپای استفاده از روش آنالما در حل مسائل نزد ریاضی‌دانان یونانی به چشم می‌خورد. وجود روش آنالما در نظریه ساعت‌های آفتابی نیز شاهد آشنایی یونانیان با این روش است (Neugebauer, 1975: 301). حداقل در سه متن متعلق به دوره یونان باستان به آنالما پرداخته شده است: (۱) بخش‌هایی از مقاله نهم در باره معماری از ویتروویوس^۲ (سده ۱ ق م)، که در آن به آنالمای به کار رفته در ساعت‌های آفتابی اشاره شده است (Sidoli, 2005: 237)؛ (۲) فصل ۳۵ رساله در دیوپتر^۳ از هرون اسکندرانی (سده ۱ م)، که در باره شرح ابزاری با همین نام است. در این فصل برای به دست آوردن فاصله میان دو شهر با کمک رصد یک ماه‌گرفتگی از آنالما استفاده شده است (Drachmann, 1972: 312؛ نک: Sidoli, 2005)؛ (۳) رساله آنالما از بطلمیوس (سده ۲ م) که در آن به طور ویژه به شرح روش آنالما، تعیین تصویر موقعیت خورشید و کاربرد آنالما در ساعت‌های آفتابی می‌پردازد. گواهی از ترجمه عربی این رساله در دست نیست (معصومی همدانی، ۱۳۸۳: ۲۵۴؛ نک: Sidoli, 2020). شواهد حاکی از آن است که منجمان دوره اسلامی به خوبی با روش آنالما آشنا بودند. ابوریحان بیرونی در رساله *إفراد المقال فی أمر الظلال* به روش آنالما منسوب به دیدروس^۴ اشاره می‌کند، به نظر می‌آید دانشمندان دوره اسلامی دست کم با رساله آنالما از دیدروس اسکندرانی آشنا بودند (قلندری، ۱۴۰۰: ۱۳۹). در دوره اسلامی برای حل مسائلی چون زمان سنجی، تعیین نصف النهار و تعیین جهت قبله از آنالما استفاده می‌کردند (نک: قلندری، ۱۴۰۰).

1. Descriptive geometry

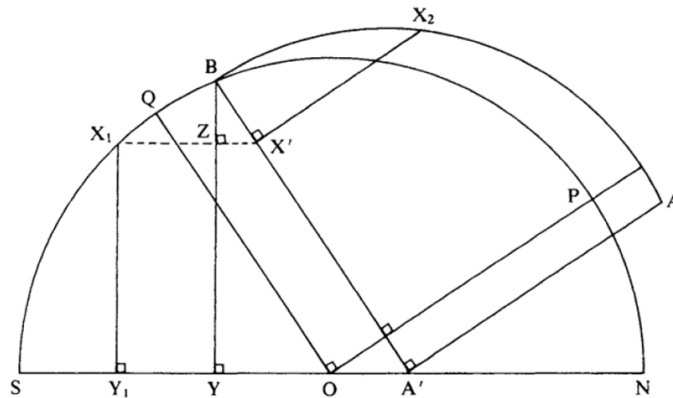
2. Vitruvius

3. On Dioptra

4. Diodorus



شکل ۱. آنالمای به کار رفته در زیج یمنی برای تعیین نصف النهار مکان با دانستن ارتفاع خورشید (الحقایق، ۱۸۹-۱۹۰).



شکل ۲. نمونه‌ای از آنالما برای زمان سنجی در دوره اسلامی. با کمک این آنالما به رابطه‌ای برای یافتن زاویه ساعتی با داشتن ارتفاع می‌توان دست یافت (نک: King, 1996, 173-174).

اهمیت تعیین جهت قبله در میان مسلمانان باعث شد تا در بیشتر زیج‌های دوره اسلامی بخشی به این موضوع اختصاص یابد و نتیجه آن عرضه روش‌های متفاوت برای محاسبه سمت قبله شد. منجمان مسلمان از سده دوم هجری موضوع تعیین قبله را به عنوان مسأله‌ای در جغرافیای ریاضی بررسی

کردند. نخستین راه حل‌ها، تقریبی و کاربردی و بر مبنای ملاحظات نقشه‌نگاری بودند. از سده سوم هجری روش‌هایی دقیق با استفاده از مثلثات کروی و هندسه ترسیمی عرضه شد (King, 1999:56-58). در میان آثار منجمان متقدمی چون حبش حاسب (زندگی: سده ۳ق)، ابن هیثم (زندگی: سده ۴ و ۵ق) و ابوریحان بیرونی (زندگی: سده ۴ و ۵ق) به کار گرفتن روش‌های آنالما برای تعیین جهت قبله دیده می‌شود. بیرونی در آثارش دو طریق آنالما برای تعیین جهت قبله عرضه می‌کند: یکی در *قانون مسعودی* و دیگری در *تحذیر نهایات الاماکن*، بر اساس بررسی برگردن دو روش بیرونی برگرفته از آنالمای حبش است و در واقع این سه طریق را می‌توان یک روش آنالما دانست، طرح مسأله اما در طریق ابن هیثم متفاوت است (نک: Berggren, 1980:69).

زیج یمینی نوشته محمد بن علی بن مالک بن ابی نصر الحقایقی در سال ۵۱۱ ه‍.ق به فارسی است. در این زیج هم به سیاق بیشتر زیج‌ها، به موضوع تعیین جهت قبله پرداخته شده است. حقایقی در مقدمه و خاتمه زیج یمینی هنگام اشاره به برخی مطالب مندرج زیج‌ها و هدف از نگارش آن‌ها، هر بار از مبحث پیدا کردن سمت قبله یاد می‌کند، برای مثال:

از نوع این علم شریف و صنع بدیع خدمتی سازم و تحفه‌ای طرازم و از زیجی که میان اهل این صنعت معروف‌تر و معتمدتر است ... و به زیج‌های مختصر که منجمان متأخر فراهم آورده‌اند و جمع کرده، اقتصار نموده و از آن عمل می‌کنند، تفاوت‌های عظیم می‌افتد خاصه در کسوف آفتاب و رؤیت ماه و سمت قبله کی ظاهرترین ابواب این علمست (حقایقی، ۱۴۰۰:۳).

و این زیج را به نام خدمت مجلس اعلی یمینی امینی شرفی ادام الله اشرافه کنم تا همه کس از آثار بزرگی وی ثمرت یابند و از روزگار دولت وی ثبتها الله نصیب گیرند و تقویم ستارگان و کسوفات و رؤیت ماه و سمت قبله و اعمال موالیذ ازین زیج بیرون آرند (الحقایقی، ۴). این کتاب به مبارکی و خجستگی برین باب ختم کردم و تمامت عمل‌هایی کی خداوندان این صنعت را به کار شود در اعمال تنجیم از درست کردن تواریخ و ... و سمت قبله و ... یاد کردم چندانک گمان بردم کی بسنده باشد و به کتاب دیگر حاجت نیوفتد (الحقایقی، ۳۱۷).

به نظر می‌آید حقایقی موضوع «سمت قبله» را از مهم‌ترین مباحث مطرح در زیج‌ها می‌دانست. و به همین دلیل یکی از ۵۰ باب این زیج را به این موضوع اختصاص داده و به تفصیل به آن پرداخته است و مجموعه‌ای از روش‌های تعیین جهت قبله را گرد آورده است. باب ششم از نوع چهارم این کتاب با عنوان «اندر دانستن سمت قبله هر شهری حسابی و صنعی» شامل شش روش در تعیین جهت قبله است که از میان سه روش صنعی (ترسیمی)، دو روش در زمره روش‌های آنالما به حساب می‌آیند.

با مطالعه مقدمه زیچ یمینی این طور استنباط می‌شود که مرجع اصلی حقایق زیچ صابی از بتانی (زندگی: سده ۳ و ۴ ق) است. علاوه بر این نام بتانی ۱۹ بار در اثنای این زیچ آمده است (نک: حسین‌زاده، ۱۴۰۱). همچنین حقایق در خاتمه زیچ یمینی از قانون مسعودی بیرونی به عنوان یکی از منابع (اصل) کارش یاد می‌کند. با توجه به این که حقایق در فاصله‌ای کمتر از ۵۰ سال پس از بیرونی با دربار غزنه در ارتباط بوده است، به احتمال بسیار علاوه بر قانون مسعودی به سایر آثار بیرونی نیز دسترسی داشته است.

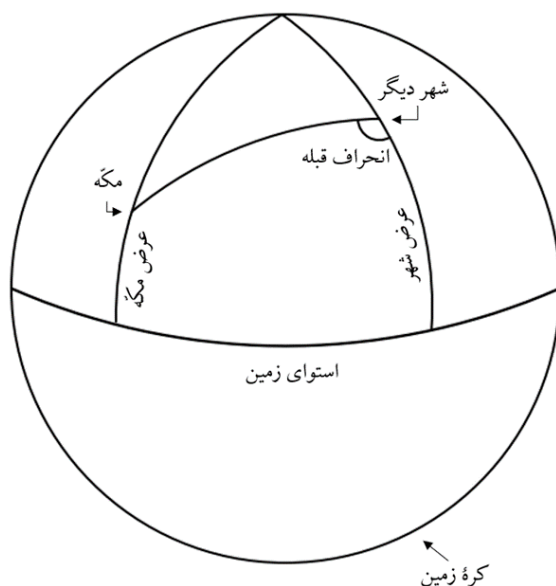
... از بهر تمامت کتاب تا ناقص نباشد، از قانون مسعودی و دیگر اصل‌ها تحویل کردم و مؤامره آن را به پارسی باز نمودم (الحقایق، ۳۱۷).

حقایق در متن زیچ یمینی گاهی از آثار و رصدهای منجمان پیشین، از جمله حبش حاسب نام برده است.

با توجه به موارد گفته شده برای یافتن مرجع دو آنالمای یاد شده برای تعیین قبله در زیچ یمینی، منابع متقدم و احتمالی آن بررسی شد. در این میان در آثار بیرونی و حبش حاسب روش‌هایی مشابه برای تعیین قبله یافت شد. در این مقاله ضمن بررسی روش‌های آمده در زیچ یمینی به مقایسه آن‌ها با روش‌های پیشین پرداخته می‌شود. پیش از بررسی این دو آنالمای زیچ یمینی نیاز است که مسأله قبله به لحاظ ریاضی و هندسی تعریف شود.

تعریف ریاضی مسأله قبله

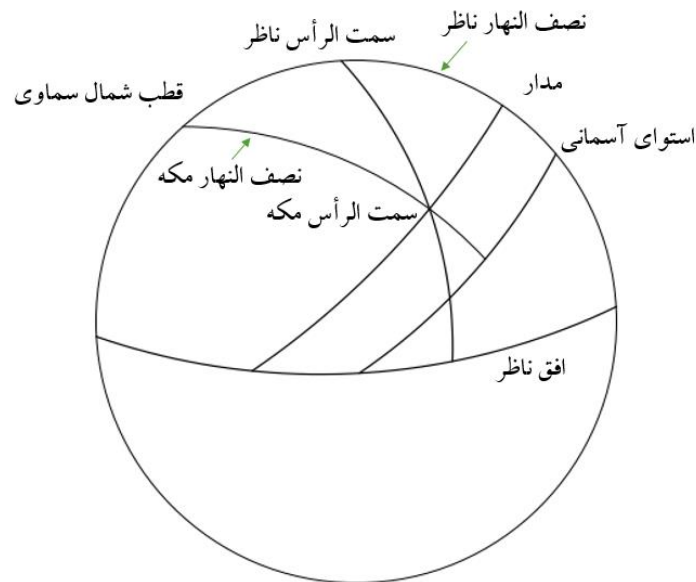
دانشمندان اسلامی با داشتن مختصات شهرها (طول و عرض جغرافیایی) و دانستن موضع آن‌ها روی کره زمین تعریفی ریاضی برای قبله عرضه کردند. آن‌ها زاویه میان نصف النهار گذرنده از شهر مورد نظر و دایره عظیمه گذرنده از شهر مکه و آن شهر را «انحراف قبله» در نظر گرفتند (شکل ۳). کمان دایره عظیمه گذرنده بین دو شهر کوتاه‌ترین مسیر میان آن‌هاست. اگر ناظر در شهر مورد نظر به سمت جنوب بایستد و به اندازه انحراف قبله، با توجه به شرقی یا غربی بودن شهر نسبت به مکه، به سمت غرب یا شرق بچرخد، رو به مکه ایستاده است (King, 1999:56).



شکل ۳. تعیین قبله

جهت قبله بر سطح افق ناظر مشخص می‌شود، پس لازم است مسأله را از سطح کره زمین و به کره سماوی و آسمان ناظر در شهر مورد نظر منتقل کنیم (شکل ۴). امتداد شهر در کره آسمان، سمت الرأس ناظر است و امتداد مکه، سمت الرأس مکه. نقطه‌ای از آسمان که بالای سر ناظر قرار دارد و بر صفحه افق عمود است، «سمت الرأس» نامیده می‌شود. نصف النهار مکان (دایره عظیمه گذرنده از قطب شمال سماوی و سمت الرأس) در امتداد نصف النهار گذرنده از شهر ناظر است. حال با پیدا کردن نصف النهار گذرنده از مکه و سپس پیدا کردن سمت الرأس مکه در آسمان ناظر روی مدار روزانه گذرنده از مکه با توجه به عرض جغرافیایی مکه و تصویر این نقطه روی صفحه افق می‌توانیم جهت قبله را پیدا کنیم. به این ترتیب مسئله قبله به یک مسئله نجوم کروی تبدیل شد. منجمان دوره اسلامی برای حل این مسئله روش‌های تقریبی محاسباتی، روش‌های دقیق مثلثاتی و آنالما را عرضه کردند. یکی از دقیق‌ترین روش‌های محاسبه سمت قبله روشی مثلثاتی معروف به روش زیج‌ها است^۱ (نک: King, 1999:61-64).

۱. برای مطالعه بیشتر در مورد روش‌های تقریبی و دقیق تعیین قبله: نک: موسوی، ۳۲-۵۵: ۱۳۹۳.



شکل ۴. مسأله قبله در آسمان ناظر

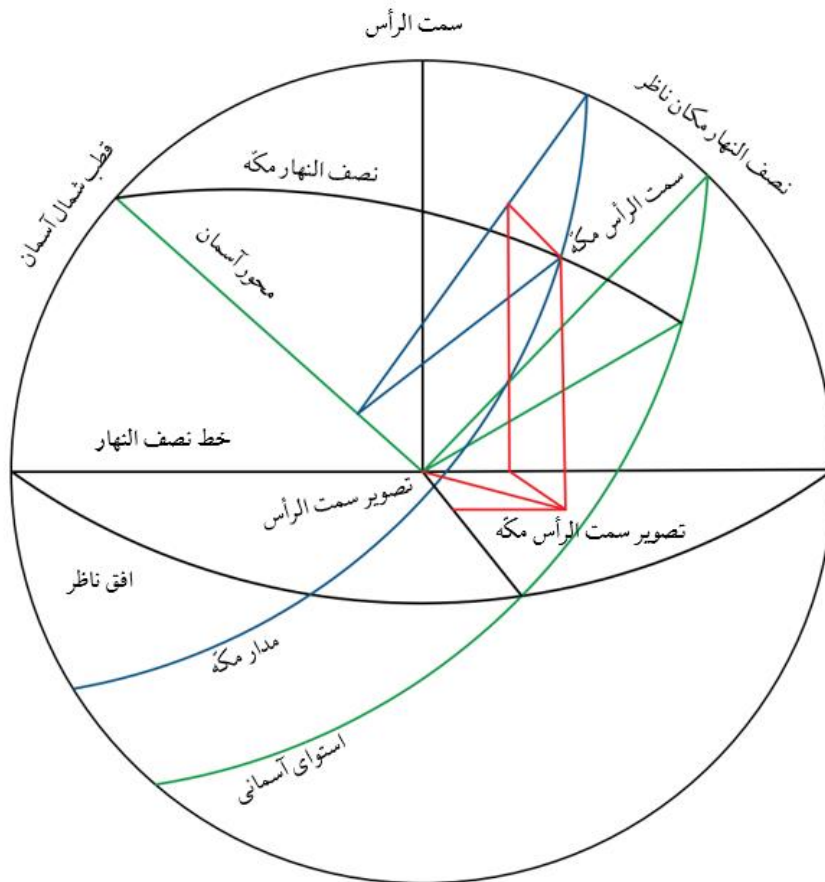
یکی از روابط دقیقی که برای محاسبه زاویه انحراف قبله عرضه شد، رابطه زیر است:
 φ : عرض جغرافیایی ناظر، φ_m : عرض جغرافیایی مکه، Δl : تفاوت طول جغرافیایی دو شهر، q :
 انحراف قبله)

$$\cot q = \frac{\cos \Delta l \sin \varphi - \cos \varphi \tan \varphi_m}{\sin \Delta l} \quad (\text{رابطه ۱})$$

سایر روش‌ها و روابط دقیق عرضه شده در دوره اسلامی، در واقع معادله‌های ریاضی رابطه اخیر هستند (King, 1999:60).

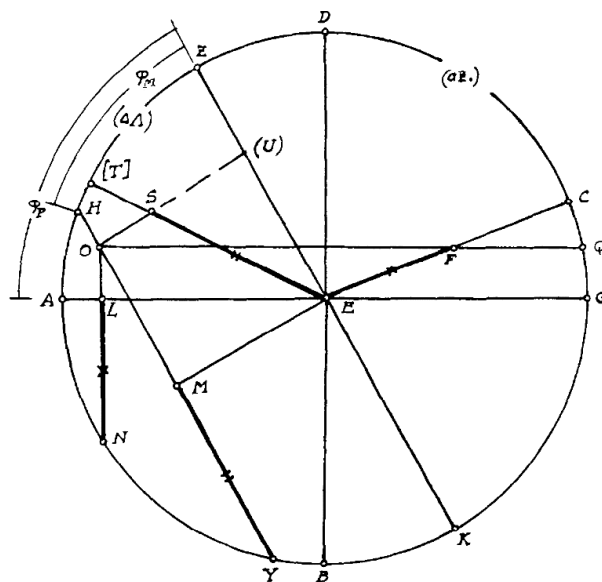
آنالمای اول زیج یمینی

مطابق شکل ۵ دایره ABGD را به مرکز E روی یک سطح صاف رسم می‌کنیم. اگر از بیرون کره آسمان و از منظر بالا به آن نگاه کنیم. دایره ABGD نشان‌گر دایره افق است. A به منزله نقطه شرق، B نقطه شمال، G غرب، D جنوب و E تصویر سمت الرأس شهر مورد نظر روی افق است. حال اگر از روبه رو به کره آسمان نگاه کنیم، نیم‌دایره سمت راست (BAD) نشان‌گر نصف النهار مکان ناظر است. از نقطه شمال به سمت شرق کمان BZ را برابر با عرض جغرافیایی شهر جدا می‌کنیم، Z به منزله قطب شمال آسمان و EZ نشان‌دهنده محور عمود بر استوای آسمانی (ER) از

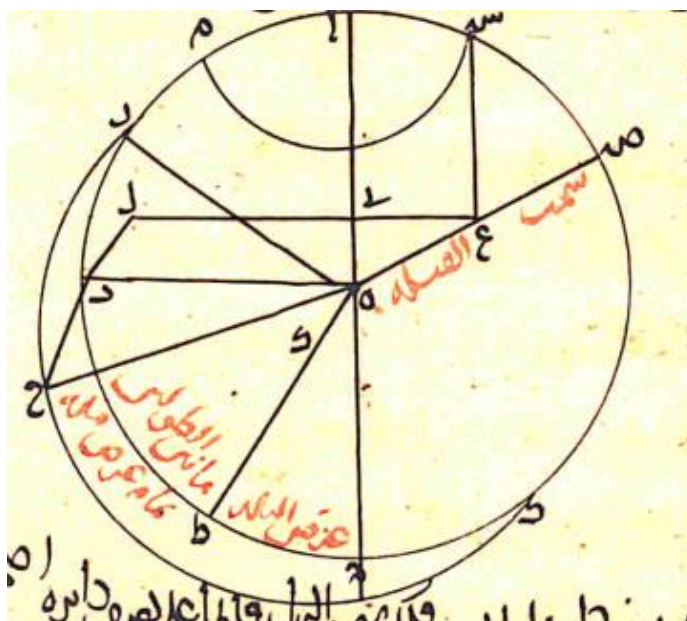


شکل ۶ شکل مجسم و سه بعدی مسأله

مراحل ابتدایی این روش مشابه آنالمایی است که در *قانون مسعودی* بیرونی آمده بود، یعنی ترسیم از نقطه جنوب و با جدا کردن قوس‌هایی برابر با عرض جغرافیایی شهر و متمم عرض جغرافیایی مکه، به ترتیب، شروع شده است، اما پس از این، یعنی در مراحل مربوط به اعمال طول جغرافیایی و پیدا کردن نقطه نهایی تصویر شهر مکه، مشابه *تحدید نهایات* عمل کرده است (شکل ۷) و اندکی در ترتیب مراحل متفاوت است. در *زیج یمینی* تنها مراحل ترسیمی آمده است و هیچ شرحی برای درک این ترسیم گفته نشده است، به همین دلیل خطوطی که در یافتن نقطه نهایی بی تأثیر بودند، حذف شده‌اند (برای مراحل کار *تحدید نهایات* به تفصیل نک: (al-Bīrūnī, 1967: 249-253).



شکل ۱۰. آنالمای منسوب به حبش (Kennedy & Id, 1974:8)



تصویر ۳. آنالمای قانون مسعودی در نسخه کتابخانه سلمانیه گ ۱۵۴ پ

اثبات مثلثاتی روش دوم

برای محاسبه زاویه انحراف قبله (q) باید ضلع‌های EI و IM در مثلث EMI را به دست بیاوریم (شکل ۹). با توجه به متن شرح روش دوم، می‌دانیم ضلع IM با NF برابر است. شعاع دایره مرجع را یک واحد در نظر می‌گیریم، حال داریم:

$$\widehat{HZ} = \varphi_m, EH = 1$$

$$\widehat{FCD} = \widehat{HED} = \varphi' = 90 - \varphi$$

$$CE = \frac{\sin\varphi_m}{\cos\varphi}, CK = CE \sin\varphi$$

$$KZ = EH \cos\varphi_m, KF = KZ \cos\Delta l$$

$$CF = CK + KF$$

$$CI = CF \cos \widehat{FCI} = CF \sin\varphi = \left(\frac{\sin\varphi_m}{\cos\varphi} \sin\varphi + \cos\varphi_m \cos\Delta l \right) \sin\varphi$$

$$EI = CI - CE$$

$$EI = \frac{\sin\varphi_m \sin^2\varphi + \cos\varphi \cos\varphi_m \cos\Delta l \sin\varphi - \sin\varphi_m}{\cos\varphi}$$

ΔEIM :

$$IM = FN = KZ \sin\Delta l, \widehat{MEI} = q$$

$$\cot q = \frac{EI}{IM} = \frac{\sin\varphi_m \sin^2\varphi + \cos\varphi \cos\varphi_m \cos\Delta l \sin\varphi - \sin\varphi_m}{\cos\varphi \cos\varphi_m \sin\Delta l}$$

$$\cot q = \frac{\cos\varphi \cos\varphi_m \cos\Delta l \sin\varphi - \cos^2\varphi \sin\varphi_m}{\cos\varphi \cos\varphi_m \sin\Delta l}$$

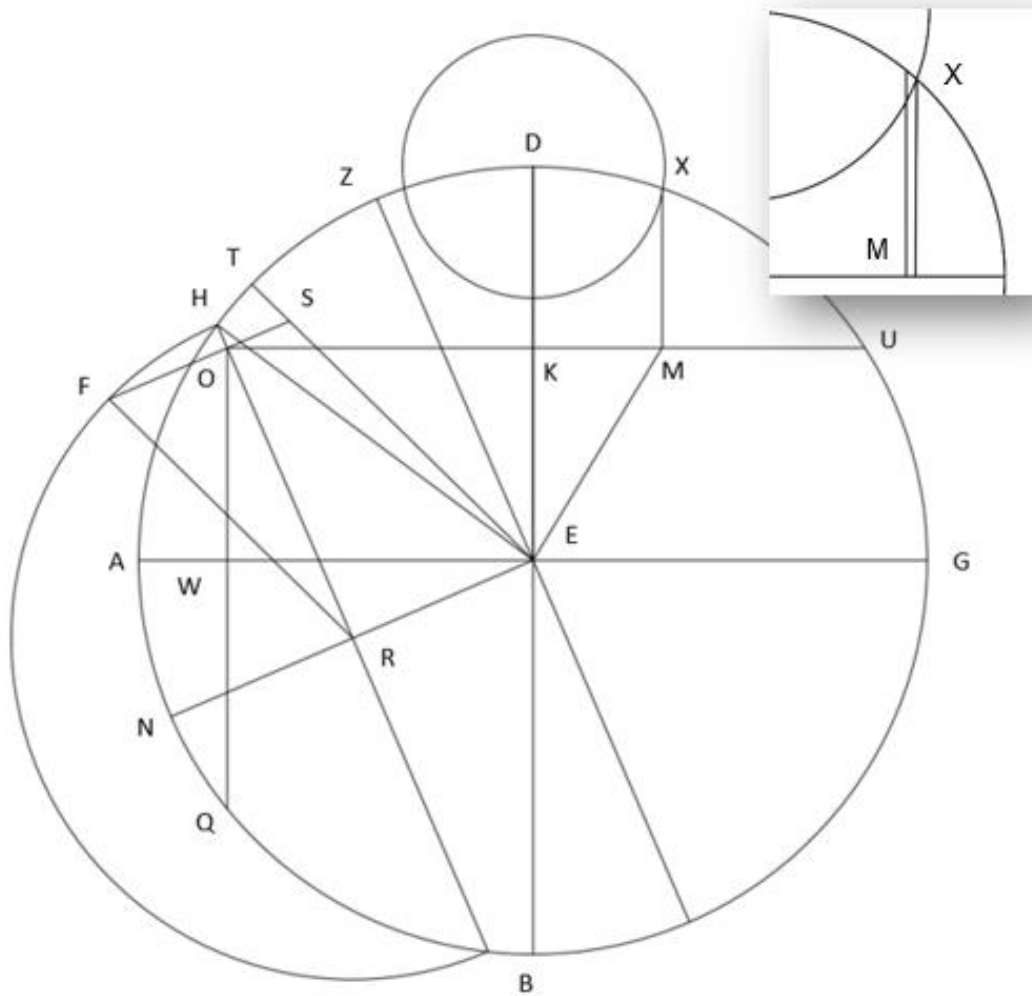
$$\cot q = \frac{\cos\varphi_m \cos\Delta l \sin\varphi - \cos\varphi \sin\varphi_m}{\cos\varphi_m \sin\Delta l}$$

$$\cot q = \frac{\cos\Delta l \sin\varphi - \cos\varphi \tan\varphi_m}{\sin\Delta l}$$

رابطه به دست آمده همان رابطه ۱ است.

به‌منظور مقایسه بهتر ترسیم، آنالماهای حبش، بیرونی در تحدید نهایات و قانون مسعودی و آنالمای دوم زیج یمینی، همه در یک شکل واحد ترکیب شده اند (شکل ۱۱). مراحل هر کدام از روش‌ها و کمان‌های به‌کار گرفته شده در هر یک در ستون مربوط به هر روش به‌طور خلاصه در جدول پیش‌رو نوشته شده است. بیرونی در مرحله نهایی آنالمای قانون مسعودی هنگام یافتن تصویر سمت الرأس

مکّه (M) دچار خطا شده است. با توجه به شکل ۱۱ مطابق توضیحات بیرونی پاره خط FO با KM برابر است اما او برای دستیابی به نقطه M دایره‌ای به مرکز D و شعاع FH ترسیم و نقطه مورد نظر را در امتداد X پیدا کرده است. با توجه به این که کمان FH از دایره صغیره و کمان DX بخشی از دایره عظیمه (همان دایره مرجع) پس امتداد X به نقطه M نمی‌رسد (نک: Berggren, 1980:74). با شبیه سازی در نرم‌افزار اتوکد و بزرگ‌نمایی این خطا مشهود و نقطه نهایی محصول این روش با نقطه واقعی M فاصله دارد (قسمت بزرگ‌نمایی شده شکل ۱۰). همان‌طور که گفته شد مراحل ابتدایی ترسیم آنالمای اول زیج بیمینی مشابه قانون مسعودی بود. به احتمال حقایقی متوجه خطای بیرونی شد و در ادامه مسیر از آن پیروی نکرد و با کمک از آنالمای تحدید نهائیات آن را اصلاح کرد.



شکل ۱۱. ترکیب آنالمای دوم زیج یمنی با آنالماهای موجود در سایر منابع

روش حقایقی	روش بیرونی		روش حبش
	قانون مسعودی	تحدید نهایات	
$AZ = \varphi$	$BN = \varphi$	$DZ = 90 - \varphi$	$AZ = \varphi$
$AH = \Delta\varphi$	$NH = 90 - \varphi_m$	$ZH = 90 - \varphi_m$	$ZH = \varphi_m$
$HF = \Delta l$	$NT = 90 - \Delta l$	$ZT = \Delta l$	$ZT = \Delta l$
$FO \perp HR$	$FO \perp HR$	$FO \perp HR$	$RH = SE$ $SO \perp BH$
$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$
$FO = KM$	$DX = FH$	$FO = KM$	$OQ \perp AG$ $WQ = EM$

نتیجه‌گیری

با بررسی آنالماهای زیچ یمینی با روش‌های بیرونی در تحدید نهایات و قانون مسعودی و روش به جا مانده از حبش، می‌توان به این نتیجه دست یافت که هر کدام از این روش‌ها صورت متفاوتی از یک آنالما هستند. به عقیده برگرن دو روشی که ابوریحان بیرونی در آثار خود به کار بسته است، برگرفته از آنالمای حبش است، او این موضوع را به دقت در مقاله خود بررسی می‌کند (Berggren, 1980). پس می‌توان نتیجه گرفت که آنالماهای زیچ یمینی نیز صورت‌های متفاوتی از آنالمای حبش هستند. البته این نتیجه دور از انتظار نیست چرا که در همه روش‌ها، مسأله واحد است، پیدا کردن موقعیت

سمت الرأس مکّه و تصویر آن روی افق، پس با تکیه بر هندسه توصیفی (ترکیب نماهای روبه رو (نصف النهار مکان) و بالا (افق ناظر)) تنها می‌توان با رویه‌هایی اندک متفاوت به جوابی یکسان رسید. بیشترین تفاوت‌ها در ترتیب روند ترسیم دیده می‌شود: این که ترسیم از کدام نقطه شروع شود، از کدام زاویه‌ها و یا متمم آن‌ها استفاده شود و شهر مورد نظر نسبت به مکّه شرقی باشد یا غربی.

با توجه به زمان تألیف زیج یمینی به نظر می‌رسد حقایقی به آثار بیرونی، دست کم تحدید نهاییات و قانون معسودی، دسترس داشته است و از هر دو بهره برده است. حقایقی یکی از اهداف نوشتن زیج یمینی را آسان کردن مطالب زیج‌ها و استفاده مخاطبان بیشتر دانسته است. به نظر می‌آید بهره آسان کردن مطلب، حقایقی ترسیم‌ها را نسبت به آثار بیرونی کوتاه‌تر و مراحل بی تأثیر را حذف کرده است. بیرونی در آثارش توضیحاتی برای درک بهتر مثلثاتی این ترسیم‌ها عرضه کرده اما حقایقی صرفاً مراحل ترسیم را بدون هیچ شرحی آورده است به طوری که با دانستن مختصات جغرافیایی شهرها به سرعت با ترسیم آنالما جهت قبله مشخص می‌شود. قانون معسودی اصلی‌ترین منبع زیج یمینی بود (حسین زاده، ۱۴۰۱) نکته جالب توجه اینست که حقایقی در ترسیم آنالماها از این کتاب استفاده کرد اما خطای مرحله نهایی بیرونی در قانون معسودی را در هیچ کدام از دو روش خویش به کار نبرد و آن را اصلاح کرد.

منابع

- الحقائقی، محمد بن علی. (۱۴۰۰ش). زیج یمینی. تصحیح محمد باقری و مائده حسین زاده. تهران: میراث مکتوب.
- بیرونی، ابوریحان. «قانون مسعودی». استانبول: کتابخانه سلیمانیه ۱۴۹۸ Carullah.
- بیرونی، ابوریحان. (۲۰۰۲م). قانون مسعودی. تصحیح عبدالکریم سامی الجندی. ج ۲. ۳ جج. بیروت: دارالکتاب العلمیه.
- بیرونی، ابوریحان. (۱۳۵۲ش). تحدید نهایات الاماکن لتصحیح مسافات المساکن. ترجمه احمد آرام. تهران: دانشگاه تهران.
- دیوید کینگ. (۱۳۸۴ش). قبله یابی در اسلام. ترجمه حسین ناهید. اصفهان: خانه ریاضیات اصفهان و تهران: فاطمی.
- حسین زاده، مائده. (۱۴۰۱ش). گاهشماری و جغرافیای ریاضی در زیج یمینی: شرح فصل‌های اول، سوم و چهارم. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد تاریخ علم، پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران.
- قلندری، حنیف. (۱۴۰۰ش). «تعیین خط نصف النهار بر اساس کتاب منتهی الإدراک فی تقاسیم الأفلاک نوشته عبدالجبار خرقی (سده ۱۲م)». تاریخ علم، (۱) ۱۹، ص ۱۳۵-۱۵۶.
- کندی، ادوارد استوارت. (۱۳۷۴ش). پژوهشی در زیج‌های دوره اسلامی. ترجمه محمد باقری. تهران: علمی و فرهنگی.
- کندی، ای. اس و یوسف عید. (۱۳۹۶ش). «نامه‌ای از ابوریحان بیرونی: آنالمای حبش حاسب برای یافتن جهت قبله». ترجمه راضیه سادات موسوی. میراث علمی اسلام و ایران، سال ششم، شماره دوم، پیاپی ۱۲. ۴-۱۳.
- معصومی همدانی، حسین و محمد علی مولوی. (۱۳۸۳ش). «بطلمیوس»، دایره المعارف بزرگ اسلامی. ج ۱۲. تهران: مرکز دائرة المعارف بزرگ اسلامی. ص ۲۶۱-۲۵۱.
- موسوی، راضیه سادات. (۱۳۹۳ش). تصحیح، ترجمه و شرح مقاله دوم از مقصد اول رساله قبله غیاث الدین منصور دشتکی. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد تاریخ علم، پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران.
- هوخذنایک، یان پ. (۱۳۹۱ش). «اسرار قبله‌نماهای اصفهان». ترجمه صمد فرخ نهاد. میراث علمی اسلام و ایران، سال اول، شماره اول، ص ۲۱-۳۵.
- Al-Bīrūnī. (1967). *Kitāb Tahdīd al-Amākin*. Translated by Jamil Ali. Beirut: American University of Beirut.
- Berggren, J. L. (1980). "Four Analemas for the Qibla". *Journal for the History of Arabic Science* 4(1): 49–80.
- Berggren, J. L. (1985). "The Origins of Al-Bīrūnī's 'Method of the Zījes.'" *Centrus* 28, no.1: 1-16.
- Carandell, J. (1984). "An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the *Risāla ft 'ilm al-zilāl* of Ibn al-Raqqām", *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 1:61-72.

- Drachmann, A.G. (1972). "Hero of Alexandria". *Dictionary of Scientific Biography*. Vol: 6. New York: Charles Scribner's Sons.
- Kennedy, E. S. (1973). *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin*. Beirut: American University of Beirut.
- Kennedy, E. S., and Yusuf Id. (1974). "A Letter of Al-Bīrūnī Ḥabash al-Ḥāsib's Analemma for the Qibla". *Historia Mathematica* 1(1): 3–11.
- King, D. (1999). *World-Maps for Finding the Direction and Distance to Mecca: Innovation and Tradition in Islamic Science*, London: Al-Furgan Islamic Heritage Foundation.
- King, D. (1996) "Astronomy and Islamic Society: Qibla, Gnomonics and Timekeeping." *Encyclopedia of the History of Arabic Science* 1 129–84.
- Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 vols. New York: Springer-Verlag.
- Sidoli, N. (2005). "Heron's Dioptra 35 and Analemma Methods: An Astronomical Determination of the Distance between Two Cities". *Centaurus* 47(3): 236-258.
- Sidoli, N. (2020). "Mathematical Methods in Ptolemy's Analemma". *Ptolemy's Science of the Stars in the Middle Ages*. Volume 1 of Ptolemaeus Arabus et Latinus studies. Belgium: Brepols. 35-77.
- Van Brummelen, Glen . (2009). *The Mathematics of the Heavens and the Earth: The Early History of Trigonometry*. Princeton University Press.